
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2004/2005

February - March 2005

ZAT 389E/3 - Low Dimensional Semiconductor Structures
[Struktur Semikonduktor Dimensi Rendah]

Duration: 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that the examination paper consists of **SEVEN** pages of printed material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **TUJUH** muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

Instruction: Answer **FOUR** questions only. Students are allowed to answer all questions in Bahasa Malaysia or in English.

Arahan: *Jawab **EMPAT** soalan sahaja. Pelajar dibenarkan menjawab semua soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]*

1. (a) A one dimensional monoatomic lattice has lattice constant $2\pi \text{ \AA}$.
[Suatu kekisi monoatom satu dimensi mempunyai pemalar kekisi $2\pi \text{ \AA}$.]
- (i) Determine its reciprocal lattice vector.
[Tentukan vektor kekisi resiprokalnya.]
- (ii) Draw the energy bands for nearly free electrons in the first three Brillouin zones.
[Lukiskan jalur tenaga bagi elektron hampir bebas di dalam tiga zon Brillouin terawal.]
- (iii) Determine the required translation vectors to translate these energy bands into the reduced zone scheme and draw the resulting band structure.
[Tentukan vektor translasi yang diperlukan bagi mentranslasi jalur tenaga ini ke dalam skim zon diperkecilkan dan lukiskan struktur jalur yang terhasil.]
- (iv) Determine an equation for the electronic density of states, $g(E)$, where E is the electron energy.
[Tentukan persamaan bagi ketumpatan keadaan elektronik, $g(E)$, dengan E ialah tenaga elektron.]
- (50/100)
- (b) (i) Discuss the arrangement of atoms in a GaAs semiconductor.
[Bincangkan susunan atom-atom di dalam semikonduktor GaAs.]
- (ii) Explain the concept of monolayer in the GaAs structure if its lattice constant is 5.6419 \AA .
[Jelaskan konsep monolapisan di dalam struktur GaAs tersebut jika diberi pemalar kekisinya ialah 5.6419 \AA .]
- (20/100)
- (c) (i) Sketch the conduction and valence bands for Si and GaAs in the [111] and [100] directions.
[Lakarkan jalur konduksi dan valens bagi Si dan GaAs dalam arah [111] dan [100].]
- (ii) Discuss the important characteristics of Si and GaAs conduction bands and their differences.
[Bincangkan ciri-ciri penting jalur konduksi Si dan GaAs tersebut dan perbezaan antara mereka.]

- (iii) The valence bands of Si and GaAs consist of two types of degenerate bands. Explain their characteristics at the zone centre and at finite wave vector.

[Jalur valens Si dan GaAs terdiri daripada dua jenis jalur yang degenerat. Jelaskan ciri-ciri mereka pada pusat zon dan pada vektor gelombang terhingga.]

(30/100)

2. (a) (i) Discuss possible types of point defects that can occur in a GaAs semiconductor.

[Bincangkan jenis-jenis kecacatan titik yang mungkin terjadi di dalam semikonduktor GaAs.]

- (ii) Explain how these defects could change the electronic properties of the GaAs semiconductor.

[Terangkan bagaimana kecacatan-kecacatan tersebut dapat memukar ciri-ciri elektronik semikonduktor GaAs tersebut.]

(20/100)

- (b) The energy band gap for an alloy semiconductor of $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}$ at Γ point is given as

[Jurang jalur tenaga bagi aloi semikonduktor $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}$ pada titik Γ diberi sebagai]

$$E_g(x) = 0.172 + 1.62x + 0.430x^2$$

Determine the wavelength and the colour of light that could be emitted by a light emitting diode of this type if $x = 0.15$.

[Tentukan jarak gelombang dan warna cahaya yang mungkin dapat dipancarkan oleh diod pemancar cahaya jenis ini jika $x = 0.15$.]

(30/100)

- (c) A metal forms an ideal interface with a p type semiconductor. Using suitable band diagrams describe possible types of contacts that can be formed at the interface by considering the work functions of the metal and the semiconductor.

[Suatu logam membentuk antaramuka sempurna dengan suatu semikonduktor jenis p. Gunakan gambarajah-gambarajah jalur yang bersesuaian bagi memerihalkan jenis-jenis sentuhan yang mungkin terbentuk pada antaramuka dengan mempertimbangkan fungsi kerja logam dan semikonduktor tersebut.]

(50/100)

3. (a) (i) Describe Vegard's Law for a ternary semiconductor $A_xB_{1-x}C$.
[Terangkan Hukum Vegard bagi suatu semikonduktor ternari $A_xB_{1-x}C$.]
- (ii) Discuss the agreement of experimental results with Vegard's Law.
[Bincangkan persetujuan keputusan eksperimen dengan Hukum Vegard.]
- (20/100)
- (b) The lattice constants for GaAs, AlAs and InAs are 5.6419 Å, 5.6611 Å and 6.0584 Å, respectively.
[Pemalar kekisi bagi GaAs, AlAs dan InAs masing-masing ialah 5.6419 Å, 5.6611 Å dan 6.0584 Å.]
- (i) Draw on the same graph changes in lattice constants for $Al_xGa_{1-x}As$ and $In_xGa_{1-x}As$ ternaries.
[Lukiskan perubahan pemalar kekisi bagi ternari $Al_xGa_{1-x}As$ dan $In_xGa_{1-x}As$ di atas graf yang sama.]
- (ii) Discuss the possibilities of growing ternary $Al_xGa_{1-x}As$ on ternary $In_xGa_{1-x}As$ without creating significant strains.
[Bincangkan kemungkinan menumbuhkan ternari $Al_xGa_{1-x}As$ di atas ternari $In_xGa_{1-x}As$ tanpa mewujudkan tegasan yang ketara.]
- (30/100)
- (c) Table shows the electron affinity χ and the energy gap E_g at 300 K for GaSb, AlSb and InAs.
[Jadual menunjukkan afiniti elektron χ dan jurang tenaga E_g pada 300 K bagi GaSb, AlSb dan InAs.]

Material [Bahan]	Electron Affinity χ (eV) [Afiniti Elektron χ (eV)]	E_g at 300 K (eV) [E_g pada 300 K (eV)]
GaSb	4.06	0.75
AlSb	3.65	1.62
InAs	5.05	0.35

- (i) Define Anderson's Rule for the alignment of energy bands at a heterojunction.
[Takrifkan Peraturan Anderson bagi penjajaran jalur-jalur tenaga pada suatu heterosimpang.]
- (ii) Determine the band offsets in the conduction and valence bands at heterojunctions of GaSb-AlSb and AlSb-InAs.
[Tentukan ofset jalur bagi jalur konduksi dan valens pada heterosimpang GaSb-AlSb dan AlSb-InAs.]
- (iii) Draw and identify the types of band alignments for heterojunctions of GaSb-AlSb and AlSb-InAs.
[Lukis dan camkan jenis penjajaran jalur bagi heterosimpang GaSb-AlSb dan AlSb-InAs.]

(50/100)

4. (a) (i) Describe the growth procedures of $\text{GaAs}-\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ heterojunctions for the formation of a one dimensional parabolic potential well.
[Perihalkan kaedah penumbuhan heterosimpang-heterosimpang $\text{GaAs}-\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ bagi menghasilkan suatu perigi keupayaan parabola satu dimensi.]
- (ii) Discuss the separation of energy bands in such a potential well.
[Bincangkan dengan jelas pemisahan jalur-jalur tenaga di dalam perigi keupayaan sebegini.]

(40/100)

- (b) A GaAs square potential well is sandwiched between AlAs barriers with depth $V_0 = 1.0\text{eV}$. The well width in the z growth direction is $a = 5.0\text{nm}$, the electron effective mass in the well is $m_W = 0.067$ and the electron effective mass in the barrier is $m_B = 0.15$.
[Suatu perigi keupayaan segiempat sama GaAs diapit oleh sawar AlAs dengan kedalaman $V_0 = 1.0\text{eV}$. Lebar perigi dalam arah penumbuhan z ialah $a = 5.0\text{nm}$ dengan jisim berkesan elektron di dalam perigi ialah $m_W = 0.067$ dan jisim berkesan elektron di dalam sawar ialah $m_B = 0.15$.]

- (i) What is the number of bound states that could exist in the well?
[Berapakah bilangan keadaan terikat yang dapat wujud di dalam perigi?]
- (ii) What happen to the bound states if the value of m_B is increased?
[Apakah yang terjadi kepada keadaan-keadaan terikat tersebut jika nilai m_B ditingkatkan?]
- (iii) Discuss the electron total energy in the well if it is also free to move in the x-y plane.
[Bincangkan dengan jelas jumlah tenaga bagi elektron di dalam perigi jika ianya juga bebas bergerak dalam arah x dan y.]
- (60/100)

5. (a) Discuss Fermi's Golden Rule for a harmonic perturbation given as
[Bincangkan Peraturan Emas Fermi bagi suatu usikan harmonik yang diberi sebagai]

$$\hat{V}(t) = 2\hat{V} \cos \omega_0 t = \hat{V} \left(e^{-i\omega_0 t} + e^{+i\omega_0 t} \right)$$

where \hat{V} is the amplitude and ω_0 is the frequency.

[dengan \hat{V} ialah amplitud dan ω_0 ialah frekuensi.]

(50/100)

- (b) The theoretical optical conductivity for interband absorption in a direct band gap semiconductor is given by the following real component
[Teori kekonduksian optik bagi penyerapan di antara jalur di dalam suatu semikonduktor jurang jalur terus diberi oleh komponen hakiki berikut]

$$\sigma_1(\omega) \approx \frac{\pi e^2}{m_0^2 \omega} |p_{cv}(\mathbf{0})|^2 n_{\text{opt}}(\hbar\omega)$$

where $n_{\text{opt}}(\hbar\omega)$ is the optical joint density of states and other terms have the same definitions as in the lecture notes.

[dengan $n_{\text{opt}}(\hbar\omega)$ ialah ketumpatan keadaan bersama optik dan sebutan-sebutan lain mempunyai maksud seperti dalam nota.]

- (i) Draw and discuss theoretical absorption curves for bulk, thin film and quantum wire semiconductors.
[Lukis dan bincangkan lengkung-lengkung penyerapan teori bagi semikonduktor pukal, saput tipis dan dawai kuantum.]
- (ii) Why do these theoretical absorption curves slightly different from those obtained experimentally?
[Kenapakah lengkung-lengkung penyerapan teori ini agak berbeza sedikit daripada keputusan eksperimen?]

(50/100)